

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
24 octobre 2002 (24.10.2002)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 02/084670 A1

(51) Classification internationale des brevets⁷ : G21D 1/02

(74) Mandataires : JACOBSON, Claude etc.; Cabinet Lavoix, 2, place d'Estienne d'Orves, F-75441 Paris Cedex 09 (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR02/01244

(81) États désignés (*national*) : CA, CN, JP, KR, ZA.

(22) Date de dépôt international : 9 avril 2002 (09.04.2002)

(84) États désignés (*régional*) : brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

(25) Langue de dépôt : français

Publiée :

(26) Langue de publication : français

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

(30) Données relatives à la priorité :

01/05143 13 avril 2001 (13.04.2001) FR

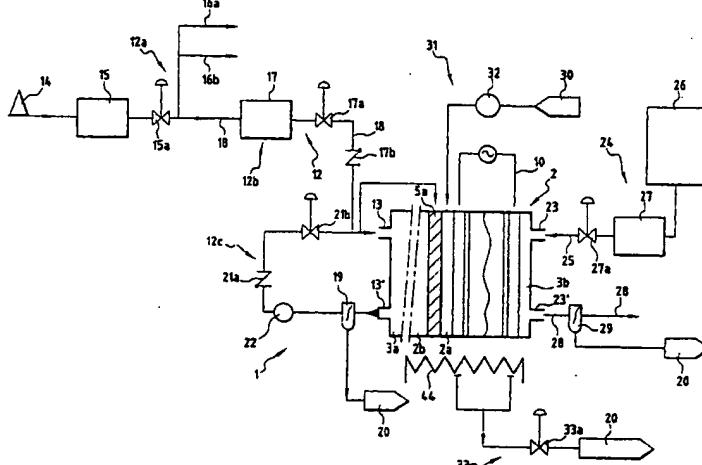
En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(71) Déposant : FRAMATOME ANP [FR/FR]; Tour Framatome, 1, place la Coupole, F-92400 Courbevoie (FR).

(72) Inventeur: DEGARD, Philippe; 10, avenue de l'Europe, F-78160 Marly le Roi (FR).

(54) Title: DEVICE FOR EMERGENCY POWER SUPPLY TO AUXILIARY COMPONENTS OF A NUCLEAR POWER PLANT AND USE METHOD

(54) Titre : DISPOSITIF D'ALIMENTATION ELECTRIQUE DE SECOURS DE COMPOSANTS AUXILIAIRES D'UNE CENTRALE NUCLEAIRE ET PROCEDE DE MISB EN OEUVRE



(57) Abstract: The invention concerns a device for emergency power supply comprising a fuel cell (2) supplied with hydrogen and with air or with pure oxygen from specific hydrogen and compressed air circuits of the nuclear plant or specific oxygen circuits. It can also be provided in the form of a hybrid system comprising the fuel cell (2) and an installation of super-capacitors arranged in parallel or in series relative to the fuel cell and via an appropriate interface (chopper for example). The fuel cell can be a PEMFC type cell. The fuel cell can in particular ensure power supply of the motor of a pump injecting water into the joints of a primary pump of a pressurised water nuclear reactor. It can also be used for supplying certain monitoring and control circuits of the nuclear plant in case of loss of normal power supply of said circuits. The power of the inventive systems can reach 500 kVA.

WO 02/084670 A1

[Suite sur la page suivante]



(57) Abrégé : Le dispositif d'alimentation électrique de secours comporte une pile à combustible (2) alimentée en hydrogène et en air ou bien en oxygène pur à partir de circuits spécifiques d'hydrogène et d'air comprimé de la centrale nucléaire ou des circuits spécifiques d'oxygène. Il peut être également réalisé sous la forme d'un système hybride comportant la pile à combustible (2) et une installation de super-condensateurs disposée en parallèle ou en série par rapport à la pile à combustible et via une interface appropriée (hacheur par exemple). La pile à combustible peut être une pile de type PEMFC. La pile à combustible peut en particulier assurer l'alimentation électrique du moteur d'une pompe d'injection d'eau dans les joints d'une pompe primaire d'un réacteur nucléaire à eau sous pression. Elle peut également être utilisée en vue de l'alimentation de certains circuits de surveillance et de commande de la centrale nucléaire en cas de perte de l'alimentation normale de ces circuits. La puissance des systèmes selon l'invention peut atteindre 500 kVA.

Dispositif d'alimentation électrique de secours de composants auxiliaires d'une centrale nucléaire et procédé de mise en œuvre

L'invention concerne un dispositif d'alimentation électrique de secours de composants auxiliaires d'une centrale nucléaire et en particulier d'une centrale comportant un réacteur nucléaire refroidi par de l'eau sous pression et un procédé pour réaliser une alimentation électrique de secours, dans le cas 5 d'une défaillance de l'alimentation électrique principale des composants auxiliaires de la centrale nucléaire.

De nombreux composants auxiliaires d'une centrale nucléaire utilisés en particulier pour la surveillance, la commande ou la sauvegarde de composants principaux de la centrale doivent être alimentés en permanence en courant électrique pour pouvoir accomplir leurs fonctions pendant toute les 10 phases de fonctionnement du réacteur nucléaire de la centrale.

Par exemple, les matériels tels que les disjoncteurs et les contacteurs, les contacteurs inverseurs de vannes motorisées et les électrovannes installés dans les locaux électriques de la centrale nucléaire doivent pouvoir 15 être alimentés en permanence, pour être disponibles en toute circonstance, de manière à assurer un fonctionnement satisfaisant du réacteur nucléaire.

Ces matériels sont alimentés par exemple en courant continu 125 V fourni par la centrale nucléaire, à partir d'un réseau en 380 V alternatif et d'un redresseur.

20 Dans le cas d'un incident ou accident se traduisant par une interruption de l'alimentation électrique de la centrale nucléaire, il est nécessaire de garder les fonctions des matériels électriques telles que définies plus haut.

Pour assurer un fonctionnement continu en toute circonstance de ces 25 matériels électriques, on utilise habituellement des batteries telles que des batteries au plomb ou au cadmium pouvant délivrer par exemple une tension nominale de 125 V avec un courant maximal de 250 A.

En régime normal de fonctionnement de la centrale, les batteries ne débitent aucun courant sauf dans le cas de pointes occasionnelles de la consommation de courant résultant de l'alimentation d'un nombre élevé de 30 composants.

En cas d'interruption de l'alimentation électrique normale de la centrale, les batteries doivent assurer à elles seules la fourniture d'énergie aux matériels électriques, un tel incident ou accident pouvant être par exemple une défaillance locale des moyens d'alimentation des matériels électriques.

5 Dans ce cas, les batteries doivent pouvoir alimenter les matériels électriques pendant au moins une heure sans que la tension aux bornes des batteries ne descende en-dessous d'une tension limite de l'ordre de 105 V, la tension nominale étant de 125 V.

10 L'encombrement et la masse des batteries pouvant assurer cette fonction sont extrêmement importants, pour atteindre l'autonomie minimale souhaitée de l'alimentation électrique.

15 Les réacteurs nucléaires refroidis par de l'eau sous pression comportent un circuit primaire dans lequel l'eau sous pression est mise en circulation par des pompes primaires comportant une roue de pompe qui est entraînée en rotation à l'intérieur de la volute de la pompe par un arbre relié au moteur de la pompe.

20 L'arbre de la pompe primaire traverse plusieurs séries de joints d'étanchéité entre sa partie reliée au moteur, à la pression atmosphérique, et sa partie d'extrémité reliée à la roue de pompe, à l'intérieur de la volute recevant de l'eau sous très haute pression et à très haute température.

Pour assurer une intégrité constante des joints, il est nécessaire d'introduire de l'eau sous pression dans la première série de joints, pour éviter une destruction successive des joints, provoquant une fuite de fluide primaire à l'extérieur du circuit primaire.

25 Il est donc nécessaire d'assurer en permanence une alimentation en eau froide des joints pour éviter tout risque de destruction et de fuite d'eau primaire.

30 En fonctionnement normal, une pompe de charge de forte puissance assure l'alimentation des joints en eau froide. Dans le cas d'une perte des alimentations électriques normales, l'injection d'eau dans la première série de joints de la pompe est assurée par une pompe volumétrique entraînée par un moteur électrique qui est généralement alimenté en courant alternatif 380 V triphasé.

Dans le cas d'une interruption de l'alimentation fournie par la centrale nucléaire en courant 380 V (réseau principal, réseau auxiliaire et groupes électrogènes), il faut prévoir une alimentation de secours du moteur de la pompe d'injection d'eau dans les joints de la pompe primaire.

5 On a proposé, par exemple, d'utiliser des turbo-alternateurs alimentés par les générateurs de vapeur de la centrale nucléaire qui sont démarrés, en cas d'incident ou d'accident se traduisant par une interruption de l'alimentation en courant électrique de la pompe d'injection.

10 Le temps nécessaire pour démarrer les turbo-alternateurs peut entraîner un défaut d'injection dans les joints de la pompe primaire. En outre, les turbo-alternateurs doivent être contrôlés périodiquement et leur maintenance peut être coûteuse.

15 Le démarrage des turbo-alternateurs pour la production de courant d'entraînement de la pompe d'injection doit être réalisé dans un délai maximal de deux minutes après la perte des alimentations électriques normales, ce qui correspond à la durée maximale de fonctionnement de la pompe primaire sans alimentation des joints en eau sous pression. Ce délai est défini pour éviter tout choc thermique sur les revêtements en alumine des joints de la série numéro 1 des pompes primaires.

20 L'expérience a montré que les turbo-alternateurs entraînés par de la vapeur prélevée dans les générateurs de vapeur peuvent présenter certaines défaillances au démarrage, dues en particulier à la présence d'eau dans les circuits.

25 Il est donc souhaitable de disposer de moyens d'alimentation électrique de secours de composants auxiliaires d'une centrale nucléaire qui puissent être facilement intégrés aux circuits et composants de la centrale, qui possèdent une autonomie de fonctionnement supérieure à celle de batteries et qui puissent être mis en service de manière rapide et sûre.

30 Le but de l'invention est donc de proposer un dispositif d'alimentation électrique de secours de composants auxiliaires d'une centrale nucléaire qui soit peu encombrant, de fonctionnement très sûr et qui possède une bonne autonomie, tout en nécessitant des opérations de maintenance réduites.

Dans ce but, le dispositif d'alimentation électrique de secours suivant l'invention comporte au moins une pile à combustible alimentée en gaz contenant de l'hydrogène et en gaz contenant de l'oxygène à partir d'au moins une réserve et d'au moins un circuit respectifs de gaz contenant de l'hydrogène et de gaz contenant de l'oxygène.

Afin de bien faire comprendre l'invention, on va maintenant décrire à titre d'exemple, en se référant aux figures jointes en annexe, un dispositif d'alimentation électrique suivant l'invention et son utilisation pour l'alimentation de secours d'une pompe d'injection d'eau dans les joints d'une pompe primaire ou d'un tableau électrique de surveillance et de commande.

La figure 1 est un schéma montrant l'implantation d'un dispositif d'alimentation électrique de secours constitué par une pile à combustible, dans les circuits d'une centrale nucléaire comportant un réacteur nucléaire à eau sous pression.

La figure 2 est une vue schématique montrant la constitution théorique d'une pile à combustible utilisant de l'hydrogène comme carburant.

La figure 3 est un schéma montrant l'utilisation du dispositif d'alimentation électrique de secours de la figure 1 pour l'alimentation d'une pompe d'injection d'eau dans les joints d'une pompe primaire du réacteur nucléaire et d'auxiliaires du système d'injection dans les joints de pompe primaire.

La figure 4 est un schéma détaillé de l'alimentation électrique d'un tableau d'alimentation électrique de composants d'une centrale nucléaire.

Sur la figure 1, on a représenté de manière schématique un dispositif d'alimentation électrique de secours selon l'invention, désigné de manière générale par le repère 1 ainsi que les réservoirs et circuits du réacteur nucléaire utilisés pour faire fonctionner le dispositif d'alimentation électrique utilisant une pile à combustible.

Le dispositif 1 comporte principalement plusieurs éléments constituant des piles à combustible telles que 2a et 2b mises en série et constituant plusieurs étages de production de courant électrique.

Le dispositif 1 comporte de plus différents circuits destinés à réaliser respectivement l'alimentation en hydrogène et en oxygène de l'ensemble des piles à combustible, le refroidissement des piles, le recyclage d'hydro-

gène non utilisé et l'élimination d'eau formée ou introduite dans l'ensemble des piles à combustible.

Sur la figure 2, on a représenté, de manière schématique, une cellule d'une pile à combustible du type PEMFC utilisant de l'hydrogène comme carburant et de l'air comme comburant.

La cellule 3 représentée sur la figure 2 est une cellule unitaire de pile à combustible destinée à faire comprendre le fonctionnement de la pile à combustible.

La cellule 3 comporte un compartiment d'entrée d'hydrogène 3a, un 10 compartiment d'entrée d'air 3b et entre les compartiments 3a et 3b, les éléments de la cellule constitués par une première électrode 4a (anode), une seconde électrode 4b (cathode) et entre les électrodes 4a et 4b, une membrane 6 en matériau polymère imprégnée d'eau constituant un électrolyte solide. Du catalyseur 4'a (ou 4'b) déposé sur l'électrode poreuse 4a (ou 4b) 15 laisse passer les gaz traversant la cellule 3.

Les électrodes sont réalisées par dépôt sur un tissu de carbone conducteur d'un mélange de poudre de carbone platinée. L'anode 4a est alimentée en hydrogène (ou gaz contenant de l'hydrogène) et la cathode 4b est alimentée en gaz contenant de l'oxygène, par exemple de l'air.

20 La pile à combustible permet de réaliser la conversion directe en énergie électrique, de l'énergie libre d'une réaction chimique d'oxydoréduction mettant en œuvre l'hydrogène et l'oxygène introduits dans la pile à combustible.

Au contact de l'anode 4a, les molécules d'hydrogène se transforment 25 en ions hydrogène (protons) avec libération d'électrons.

Les ions hydrogène traversent l'électrolyte comme représenté par les flèches 8 sur la figure 2, pour parvenir à la cathode 4b au niveau de laquelle se trouvent en présence les ions hydrogène et des molécules d'oxygène. Sous l'effet du catalyseur contenu dans la cathode 4b, les ions hydrogène 30 assurent une réduction de l'oxygène comburant de l'air introduit dans la pile à combustible avec absorption d'électrons. La réaction produit de l'eau sous forme de vapeur, comme représenté par la flèche 9.

Les électrons produits par la réaction anodique peuvent circuler dans un circuit d'utilisation 10 de la pile à combustible, jusqu'à la cathode 4b. On obtient ainsi une différence de potentiel entre l'anode et la cathode et une circulation de courant dans le circuit d'utilisation 10 de la pile à combustible.

5 Le potentiel théorique de la pile à combustible est de 1,23 V, ce qui correspond au potentiel d'oxydoréduction du couple O₂/H₂O.

Comme il faut tenir compte des pertes à l'intérieur de la pile à combustible, cette tension se situe en fait entre 0,6 V et 0,9 V par élément tel que représenté sur la figure 2.

10 La membrane 6 est une membrane de type cationique, de sorte qu'elle ne laisse passer que les ions hydrogène H⁺ provenant de l'anode 4a dans laquelle on introduit l'hydrogène moléculaire H₂ (flèche 7'a). L'oxygène O₂ de l'air introduit dans le second compartiment 3b de la pile à combustible 3 est introduit dans la cathode 4b, comme représenté par la flèche 7'b.

15 En fait, de l'air introduit dans le compartiment 3b traverse l'ensemble de la pile à combustible et entraîne la vapeur d'eau ou l'eau formée dans la pile à combustible, de sorte qu'on évacue aussi bien par le compartiment 3a que par le compartiment 3b de la pile à combustible un mélange comportant de la vapeur d'eau ou l'eau formée en suspension dans l'air de balayage, 20 comme représenté par les flèches 11a et 11b.

Pour obtenir une puissance électrique suffisante de la pile à combustible pour assurer une alimentation électrique de secours, il est nécessaire de juxtaposer une pluralité de cellules telles que représentées sur la figure 2.

25 Par exemple, dans le cas d'une alimentation de secours pour une pompe d'injection dans les joints de pompe primaire, il est nécessaire de disposer d'une puissance d'environ 150 kW qui peut être obtenue en juxtaposant un nombre de cellules unitaires, dont le nombre est défini par la tension continue à obtenir et dont la section (surface des électrodes) est définie par la valeur du courant dont on doit assurer la production.

30 Par exemple, pour obtenir la puissance de 150 kW, on peut utiliser deux cent quinze cellules de type PEMFC telles que représentées sur la figure 2 dont la section a une largeur de 420 mm et une hauteur de 420 mm.

Entre deux cellules successives est disposée une plaque bipolaire 5a accolée à une anode et une cathode respectives des cellules successives. Les plaques bipolaires assurent la distribution des gaz (hydrogène et oxygène) entre les cellules 3, la collecte des électrons d'une cellule à la suivante et l'évacuation des produits formés par les réactions dans la pile à combustible (en particulier la vapeur d'eau), et l'évacuation de la chaleur de réaction produite dans la pile.

Chacune des cellules unitaires comporte une plaque bipolaire, une anode, une membrane et une cathode, la seconde plaque bipolaire étant commune à deux cellules successives juxtaposées.

Une cellule PEMFC de type habituel présente une épaisseur de l'ordre de 10 mm, de sorte que, compte tenu des dimensions des compartiments d'extrémité, l'ensemble de la pile à combustible présente une longueur de 2300 mm environ.

Les unités telles que 2a et 2b représentées sur la figure 1 sont donc juxtaposées en très grand nombre, pour constituer une pile à combustible 2 ayant les caractéristiques électriques voulues pour assurer l'alimentation électrique de secours.

La pile à combustible est alimentée en hydrogène et en air, aux extrémités de chaque cellule, au niveau d'une plaque bipolaire ou des compartiments 3a et 3b.

L'alimentation en hydrogène du compartiment 3a et des plaques bipolaires est assurée par l'intermédiaire d'un circuit d'hydrogène 12 relié à un ajutage d'entrée 13 du compartiment 3a de la pile à combustible et aux plaques bipolaires telles que 5a.

Les centrales nucléaires comportent généralement leurs propres moyens de stockage et de distribution d'hydrogène qui constituent une première partie 12a du circuit d'alimentation en hydrogène 12 de la pile à combustible.

Cette partie 12a du circuit 12 comporte un ou plusieurs réservoirs de stockage d'hydrogène 14 sous haute pression (par exemple 197 bars), une platine de détente 15 de l'hydrogène jusqu'à une pression de distribution (par exemple 7 bars) et une vanne d'arrêt 15a pour assurer la distribution

d'hydrogène, par exemple dans le circuit de contrôle volumétrique et chimique du réacteur nucléaire (flèche 16a) ou dans un circuit d'utilisation de l'exploitant de la centrale (flèche 16b).

Le circuit 12 d'alimentation de la pile à combustible 2 est par exemple réalisé en adjoignant à la partie 12a du circuit d'hydrogène existant sur la centrale nucléaire une partie du circuit 12b comportant une seconde platine 17 de détente de l'hydrogène (par exemple jusqu'à 3 bars), une vanne d'arrêt 17a, un clapet anti-retour 17b, et une conduite 18 de jonction de la partie 12a du circuit en aval de la vanne 15a à l'ajutage 13 de la pile à combustible.

Le circuit 12 de distribution d'hydrogène comporte de plus une partie de recyclage 12c, assurant la récupération d'hydrogène non consommé dans la pile à combustible par l'intermédiaire d'un second ajutage 13' du premier compartiment 3a, l'hydrogène récupéré étant réintroduit dans la conduite 18 reliée à l'ajutage 13 d'entrée de l'hydrogène dans le premier compartiment 3a.

Le circuit de récupération 12c comporte un séparateur 19 permettant de séparer l'hydrogène en excès, de la vapeur d'eau formée dans la pile à combustible, la vapeur d'eau étant condensée puis évacuée dans un circuit de récupération des purges 20 du réacteur nucléaire.

Sur le circuit de récupération d'hydrogène 12c, sont également placés un clapet anti-retour 21a, une vanne d'arrêt 21b et une pompe de circulation 22 alimentée électriquement par la pile à combustible.

Suivant la puissance demandée à la pile à combustible, on récupère une quantité d'hydrogène plus ou moins importante qui peut être recyclée de telle sorte qu'on réduit les quantités d'hydrogène prélevé sur la réserve de stockage 14.

On peut ainsi moduler le fonctionnement en puissance du dispositif d'alimentation de secours et optimiser la consommation d'hydrogène.

Au lieu d'une alimentation en hydrogène propre à la centrale nucléaire, on pourrait utiliser un circuit d'hydrogène spécifique à la pile à combustible.

L'alimentation en air du second compartiment 3b de la pile à combustible et des plaques bipolaires fournissant l'oxygène comburant et assurant le balayage de la pile à combustible est effectuée par un circuit 24 relié à un ajutage 23 du second compartiment 3b par une conduite 25. Le circuit 24 5 comporte un réservoir 26 d'air comprimé qui est un composant habituel utilisé dans une centrale nucléaire. On utilise par exemple un réservoir tampon 26 d'air comprimé d'une capacité de 4 m³, permettant l'alimentation en air de la pile sous une pression de 3 bars.

Entre le réservoir 26 et l'ajutage 23 d'injection d'air dans la pile à combustible sont disposés, sur la conduite 25, une platine de détente de l'air comprimé 27 (par exemple jusqu'à une pression de 3 bars) et une vanne d'arrêt 27a. On peut utiliser, à la place de l'air, un circuit d'oxygène pur comportant des réserves sous pression ($P = 190$ b), un ou deux dispositifs de détente et des vannes d'arrêt suivant le même principe que le système de distribution d'hydrogène.

15 L'utilisation d'oxygène permet d'améliorer l'efficacité de la pile à combustible.

Un circuit 28 relié à un ajutage 23' débouchant dans le second compartiment 3b de la pile à combustible permet d'évacuer la vapeur d'eau formée dans la pile à combustible en mélange avec de l'air insufflé dans la pile à combustible par l'intermédiaire du circuit 24. Le circuit 28 comporte un séparateur 29 permettant d'évacuer l'eau formée dans le circuit de récupération des purges 20 du réacteur nucléaire.

25 L'air séparé de la vapeur est évacué à l'atmosphère par une conduite d'échappement du circuit 28.

La pile à combustible 2 s'échauffe du fait qu'une partie de l'énergie produite par la réaction chimique à l'intérieur de la pile à combustible se dégage sous forme de chaleur.

Il est nécessaire de refroidir la pile à combustible et pour cela de l'eau 30 de refroidissement provenant d'un circuit d'eau déminéralisée 30 de la centrale nucléaire est injectée dans des conduits spécifiques de la pile à combustible, par l'intermédiaire d'un circuit d'injection 31 comportant une pompe 32, alimentée en courant par la pile à combustible, de mise en circulation de

l'eau déminéralisée dans le circuit 31 et la pile à combustible. L'eau déminéralisée pourrait également circuler sous l'effet de la gravité à partir d'un réservoir à un niveau supérieur à celui de la pile à combustible.

L'eau circulant dans la pile à combustible est récupérée par un circuit
5 33 relié au circuit 20 de récupération des purges du réacteur nucléaire.

Le circuit de récupération 33 comporte des embranchements reliés aux parties anodiques et aux parties cathodiques de la pile à combustible 2 par l'intermédiaire de plaques bipolaires. Une vanne d'arrêt 33a est disposée sur le circuit 33, pour assurer, lors de son ouverture, l'évacuation de l'eau
10 récupérée, dans le circuit des purges 20.

Un dispositif de chauffage 44 de la pile à combustible (représenté sous la forme d'un serpentin) permet de maintenir la pile à combustible à une température de fonctionnement, lorsque la pile à combustible n'est pas utilisée pour l'alimentation électrique de secours. On réduit ainsi le temps de
15 démarrage de la pile à combustible, lorsqu'il devient nécessaire de l'utiliser.

On désigne par 10 un circuit d'utilisation du courant électrique produit par la pile à combustible. Le circuit est relié aux parties cathodiques et anodiques de la pile à combustible par l'intermédiaire des plaques bipolaires, de telle sorte qu'un courant continu circule dans le circuit d'utilisation 10 sous
20 une tension constante.

Le circuit de récupération du courant électrique produit sous une tension continue par la pile à combustible est relié, comme représenté sur la figure 3, aux composants de la centrale nucléaire dont on veut assurer une continuité de l'alimentation électrique dans le cas d'un incident ou d'un accident.
25

Sur la figure 4, on a représenté les moyens d'alimentation normale et de secours d'un tableau électrique 40 et de composants utilisateurs de courant électrique tels que des bobines d'electrovannes, des moteurs ou des contacteurs de la centrale nucléaire ou encore des auxiliaires de la pile à combustible (par exemple des pompes), par l'intermédiaire de circuits 41.
30

Les moyens d'alimentation normale 42 du tableau 40 comportent en particulier une unité d'alimentation reliée à un réseau de fourniture de cou-

rant alternatif de la centrale nucléaire et comportant un redresseur pour obtenir du courant continu, par exemple sous une tension de 125 V.

Les moyens d'alimentation de secours comportent en particulier la pile à combustible 2 et une installation comportant au moins un super-condensateur 38 dont les caractéristiques structurelles et fonctionnelles seront décrites plus loin. La pile à combustible 2 et l'installation de super-condensateurs 38 sont reliés en parallèle au tableau électrique 40 et à la ligne d'alimentation générale reliée aux circuits 41 et placés en série sur la ligne d'alimentation, par rapport à l'alimentation normale 42.

Sur les branches de liaison de l'alimentation normale 42, de la pile à combustible 2 et des super-condensateurs 38, à la ligne d'alimentation générale sont placés des disjoncteurs commandés ou relais respectifs 37, 39 et 43.

Lorsqu'on dispose de l'alimentation normale du tableau et des circuits utilisateurs, les disjoncteurs 37 et 43 sont fermés et le disjoncteur 39 ouvert. Le tableau 40 et les circuits utilisateurs 41 sont alimentés par les moyens 42 d'alimentation normale.

Le ou les super-condensateurs 38 sont maintenus en charge.

En cas de perte de l'alimentation normale, on met en service l'alimentation de secours en ouvrant le disjoncteur 37 et en fermant le disjoncteur 39.

Le tableau 40 et les circuits utilisateurs 41 sont alimentés d'abord par les super-condensateurs 38 puis par la pile à combustible 2 dont on assure le démarrage pour la production de courant électrique, pendant la décharge des super-condensateurs 38. On assure ainsi une continuité parfaite de l'alimentation électrique. Les super-condensateurs sont dimensionnés pour garantir l'alimentation du tableau 40 pendant le démarrage de la pile à combustible.

L'interface entre les super-condensateurs 38 et un jeu de barres de l'alimentation électrique peut être assurée par un hacheur réversible 38a qui permet de maintenir une tension du jeu de barres constante au cours de la décharge des super-condensateurs.

Suivant les besoins, on peut réaliser une alimentation en courant continu ou alternatif à une tension quelconque, par exemple de 220V, 125V, 48 V ou 30 V, en utilisant des moyens électroniques de conversion pouvant comporter des onduleurs, transformateurs ou redresseurs ou des unités de piles à combustible de caractéristiques adaptées.

Le circuit 10 d'une pile à combustible 2 peut également alimenter, par l'intermédiaire d'un onduleur (ou de plusieurs onduleurs), un ou plusieurs moteurs basse tension, par exemple alimentés en 690 V ou 380 V triphasé.

En particulier, comme représenté sur la figure 3, le circuit 10 peut être utilisé pour assurer la continuité de l'alimentation en eau des joints d'au moins une pompe primaire du réacteur nucléaire, par l'intermédiaire de la pompe volumétrique 35 mise en rotation par le moteur électrique 35a, dans le cas d'une interruption de l'alimentation électrique normale de la pompe 35.

Le moteur électrique 35a d'entraînement de la pompe 35 est alimenté en courant alternatif triphasé sous une tension de 380 V, par l'intermédiaire d'un convertisseur du courant continu fourni par le circuit 10 de la pile à combustible en courant alternatif triphasé.

Le convertisseur 36 est constitué par un onduleur.

De préférence, des super-condensateurs placés en parallèle par rapport à la pile à combustible permettent de réaliser un démarrage plus rapide de la pompe d'injection en cas de perte de l'alimentation normale, pendant le démarrage et la montée en puissance de la pile à combustible.

L'alimentation électrique de secours des composants auxiliaires 34 et 35 du réacteur nucléaire peut être assurée par la pile à combustible tant que du carburant hydrogène est disponible dans les réservoirs de la centrale nucléaire.

La durée d'utilisation d'une pile à combustible du type PEMFC peut être de l'ordre d'au moins 10000 heures. De ce fait, la durée d'utilisation continue du dispositif d'alimentation de secours par pile à combustible n'est limitée que par la capacité de la réserve d'hydrogène.

Du fait que les piles à combustible peuvent avoir des densités de puissance élevées, elles sont susceptibles d'assurer correctement l'alimen-

tation de tableaux et circuits pendant des durées prolongées et de manière totalement autonome.

La dimension totale d'une pile à combustible pouvant assurer l'alimentation d'un tableau et d'un ensemble de composants utilisateurs est sensiblement plus faible que la dimension des batteries (en 220V, 125V, 48V ou 30V) utilisées habituellement, pour des autonomies d'une heure.

On peut utiliser une pile à combustible (de dimension réduite) pour alimenter chacun des tableaux de surveillance et de commande de la centrale nucléaire ou, au contraire, utiliser une pile à combustible de plus grande puissance et de plus grande dimension pour alimenter un ensemble de tableaux de surveillance et de commande.

Une autre application des piles à combustible en tant que moyen d'alimentation de secours est relative à l'alimentation de la pompe d'injection d'eau dans les joints d'une pompe primaire comme décrit plus haut.

Une pile à combustible présente d'autre part l'avantage de ne nécessiter aucune source d'énergie externe pour démarrer ou fonctionner et d'être ainsi totalement autonome.

En outre, le démarrage de la pile à combustible est très rapide et la pile à combustible ne fonctionne réellement que lorsqu'il est nécessaire de fournir du courant électrique d'alimentation des composants auxiliaires du réacteur nucléaire, à la suite d'une perte d'alimentation électrique, ce qui est avantageux dans le cas de toutes les applications où l'on utilise la pile à combustible comme source d'énergie électrique de secours.

L'invention ne se limite pas au mode de réalisation qui a été décrit.

Afin d'améliorer la dynamique du système de secours, on peut utiliser, comme décrit plus haut, une installation de super-condensateurs placés en série ou en parallèle par rapport à la pile à combustible. Une telle installation permet de fournir instantanément la puissance nécessaire aux différents composants utilisateurs, pendant la montée en puissance de la pile à combustible. Les super-condensateurs permettent également d'assurer la fourniture de puissance, en présence d'un pic de consommation. L'invention peut donc mettre en œuvre un système hybride constitué d'une pile à combustible et d'un ou plusieurs super-condensateurs.

On appelle super-condensateurs, des condensateurs pouvant fournir par décharge des puissances beaucoup plus élevées que des condensateurs classiques, avec des constantes de temps plus élevées.

Les super-condensateurs qui peuvent être utilisées dans le cas de l'invention reposent sur le principe de la capacité double-couche. Les super-condensateurs sont constitués de deux électrodes poreuses, d'un électrolyte et d'un séparateur poreux. La réalisation des condensateurs peut faire appel à diverses technologies. Les électrodes peuvent être en carbone, en polymères déposés ou en oxydes métalliques hydratés. L'électrolyte utilisé peut être aqueux ou de type organique.

De manière générale, les super-condensateurs utilisés présentent l'avantage d'avoir une excellente cyclabilité charge-décharge (>100.000), un faible encombrement et de ne nécessiter que peu d'entretien.

Dans tous les cas, les super-condensateurs doivent être accompagnés de circuits assurant une charge entre les phases d'utilisation.

On peut utiliser, à la place d'une pile à combustible de type PEMFC, d'autres types de pile à combustible par exemple une pile à combustible de l'un des types suivants : pile alcaline (AFC) avec ou sans membrane, pile à acide phosphorique PAFC, pile à carbonates fondus MCFC, pile à électrolyte solide SOFC, pile à méthanol DMFC. De même, on peut utiliser, à la place de super-condensateurs, tout autre dispositif de stockage d'énergie électrique tel que des batteries pour réaliser une alimentation instantanée des utilisateurs en cas de perte d'alimentation normale.

Cependant, les piles de type PEFMC qui consomment uniquement de l'hydrogène et de l'air ou de l'oxygène pur sont particulièrement bien adaptées pour être intégrées aux circuits d'une centrale nucléaire.

On peut prévoir d'utiliser, comme carburant de la pile à combustible, à la place d'hydrogène pur, un gaz ou toute autre substance contenant de l'hydrogène qui peut être disponible dans un circuit de la centrale nucléaire, pour alimenter la pile à combustible, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un reformeur.

De même, à la place de l'air, on peut utiliser de l'oxygène pur à partir d'une réserve dédiée, ou bien tout autre mélange gazeux contenant de l'oxygène à diverses teneurs.

5 L'invention utilise cependant, de manière préférentielle, une pile à combustible qui peut être alimentée directement en hydrogène ou en gaz contenant de l'oxygène à partir des circuits de la centrale nucléaire.

L'invention ne se limite pas à l'alimentation de secours des pompes d'injection d'eau dans les joints des pompes primaires d'un réacteur nucléaire à eau sous pression mais peut être appliquée pour pallier toute perte 10 d'alimentation électrique dans une centrale nucléaire et pour assurer une alimentation électrique continue de composants auxiliaires de la centrale comportant des moteurs ou pompes de petites dimensions, des disjoncteurs, des relais d'automates ou tout autre matériel basse tension alimenté en courant continu ou en courant alternatif.

15 La puissance des installations alimentées par le système hybride, pile à combustible + super-condensateur peut aller jusqu'à 500 kVA.

Il est alors possible d'alimenter des pompes de fourniture d'eau alimentaire de secours aux générateurs de vapeur du réacteur, pour refroidir le réacteur en cas de perte totale des alimentations électriques.

20 Les moteurs de ces pompes sont alimentés en 690 V.

En effet, dans le cas d'un réacteur de conception récente, les turbopompes de secours sont remplacées par deux motopompes de secours qu'il est nécessaire d'alimenter dans ces situations.

25 Il est prévu actuellement deux générateurs à moteur diesel uniquement consacrés à la fonction d'alimentation de secours. Ces petits moteurs diesel pourraient être remplacés chacun par au moins une pile à combustible.

REVENDICATIONS

1.- Dispositif d'alimentation électrique de secours de composants auxiliaires (34, 35, 35a) d'une centrale nucléaire, caractérisé par le fait qu'il comporte au moins une pile à combustible (2) alimentée en gaz contenant de l'hydrogène et en gaz contenant de l'oxygène à partir d'au moins une réserve et d'au moins un circuit respectifs de gaz contenant de l'hydrogène et de gaz contenant de l'oxygène.

5

2.- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'il comporte de plus un dispositif intermédiaire de stockage d'énergie électrique (38), placé en parallèle ou en série par rapport à la pile à combustible, pour fournir instantanément du courant électrique de secours, pendant une phase de démarrage et de montée en puissance de la pile à combustible (2) ou en présence de pics de consommation.

10

3.- Dispositif suivant la revendication 2, caractérisé par le fait que le dispositif intermédiaire de stockage d'énergie électrique est constitué par au moins un super-condensateur (38).

15

4.- Dispositif d'alimentation suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que la pile à combustible est une pile de l'un des types suivants : PEMFC, pile alcaline (AFC) avec ou sans membrane, pile à acide phosphorique PAFC, pile à carbonates fondus MCFC, pile à électrolyte solide SOFC, pile à méthanol DMFC.

20

5.- Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait que la pile à combustible (2) est alimentée en hydrogène à partir d'un circuit d'alimentation (12) comportant une première partie de circuit (12a) d'alimentation usuelle de circuits (16a, 16b) de la centrale nucléaire et une seconde partie (12b) de liaison de la première partie (12a) à la pile à combustible.

25

6.- Dispositif suivant la revendication 5, caractérisé par le fait que la première partie de circuit (12a) comporte au moins un réservoir (14) de stockage d'hydrogène sous pression, une première platine de détente de l'hydrogène (15) et une première vanne d'arrêt (15a) et que la seconde partie du circuit (12) d'alimentation en hydrogène comporte une seconde platine (17) de détente de l'hydrogène et une seconde vanne d'arrêt (17a).

30

7.- Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 5 et 6, caractérisé par le fait que le circuit (12) d'alimentation en hydrogène de la pile à combustible (2) comporte un circuit complémentaire (12c) de recyclage d'hydrogène non consommé dans la pile à combustible (2).

5 8.- Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait que la pile à combustible (2) est alimentée en hydrogène par un circuit spécifique à la pile à combustible (2).

10 9.- Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé par le fait qu'il comporte un circuit (24) d'alimentation en air de la pile à combustible (2) comportant un réservoir tampon (26) de stockage d'air comprimé de la centrale nucléaire relié à la pile à combustible par l'intermédiaire d'une conduite sur laquelle est disposée une platine de détente de l'air comprimé (27) et une vanne d'arrêt (27a).

15 10.- Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé par le fait qu'il comporte de plus un circuit (31) de refroidissement de la pile à combustible (2) par l'intermédiaire d'eau déminéralisée d'un réservoir d'eau déminéralisée (30) de la centrale nucléaire.

20 11.- Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé par le fait qu'il comporte au moins un circuit de récupération d'eau dans la pile à combustible relié à un circuit de récupération des purges (20) de la centrale nucléaire.

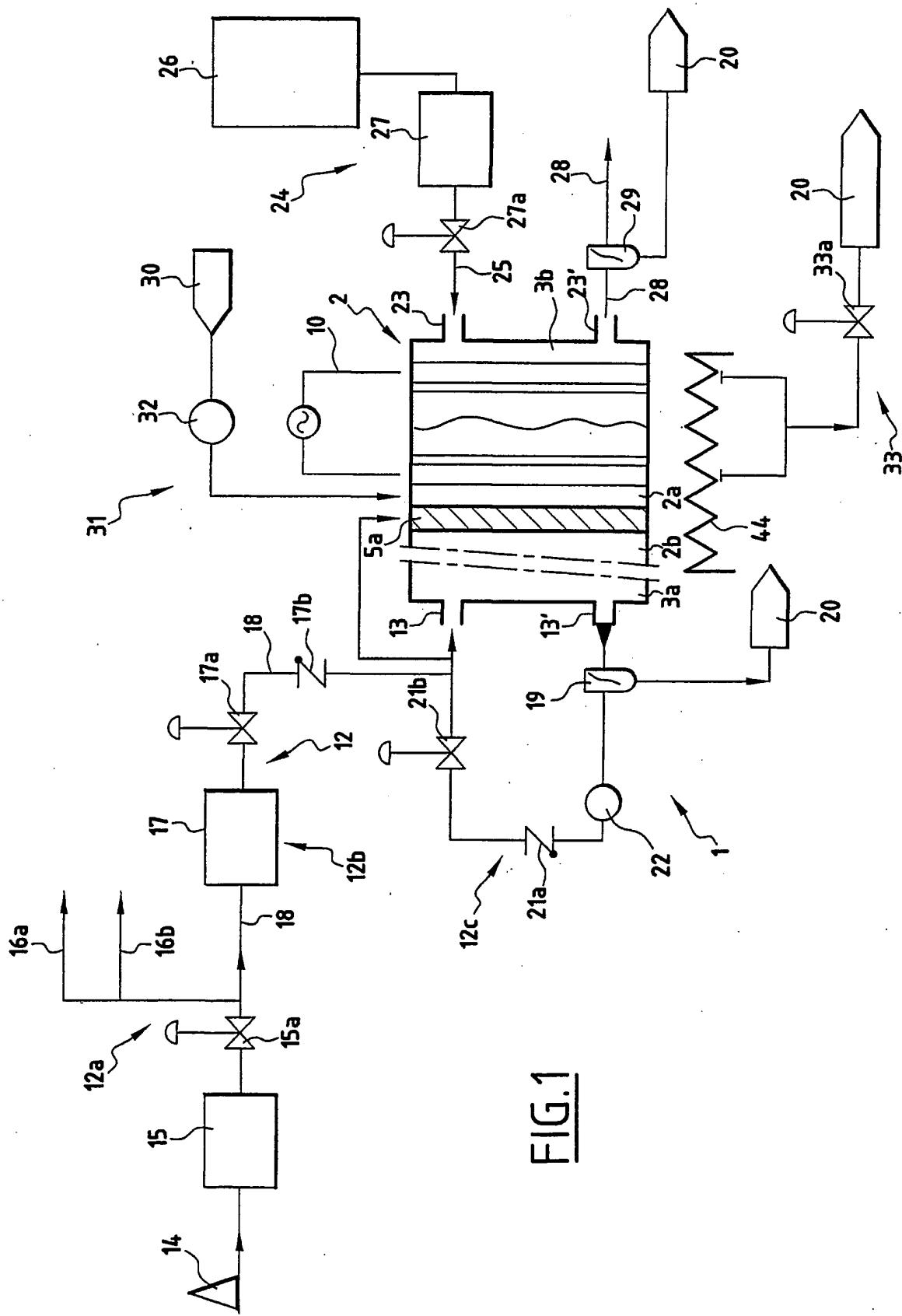
25 12.- Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé par le fait qu'il comporte de plus un dispositif de chauffage (44) pour maintenir la pile à combustible (2) à une température de fonctionnement pour réduire un temps de démarrage de la pile à combustible.

30 13.- Procédé d'alimentation électrique de secours d'un moteur d'entraînement d'une pompe d'injection d'eau dans des joints d'étanchéité de l'arbre d'entraînement d'une pompe primaire d'un réacteur nucléaire, caractérisé par le fait que, dans le cas d'une interruption de l'alimentation électrique normale de la pompe d'injection (35), on alimente le moteur (35a) de la pompe d'injection d'eau (35) dans les joints de la pompe primaire par l'intermédiaire d'une pile à combustible (2) et d'un convertisseur (36) de courant continu en courant alternatif triphasé tel qu'un onduleur.

14.- Procédé d'alimentation électrique de secours d'au moins un tableau électrique (40) de surveillance et de commande de composants auxiliaires d'une centrale nucléaire, caractérisé par le fait qu'on alimente le tableau électrique (40) à partir de courant produit par une pile à combustible 5 (2) et une installation de super-condensateurs (38) utilisées uniquement pour l'alimentation du tableau (34) ou pour l'alimentation de plusieurs tableaux électriques (34).

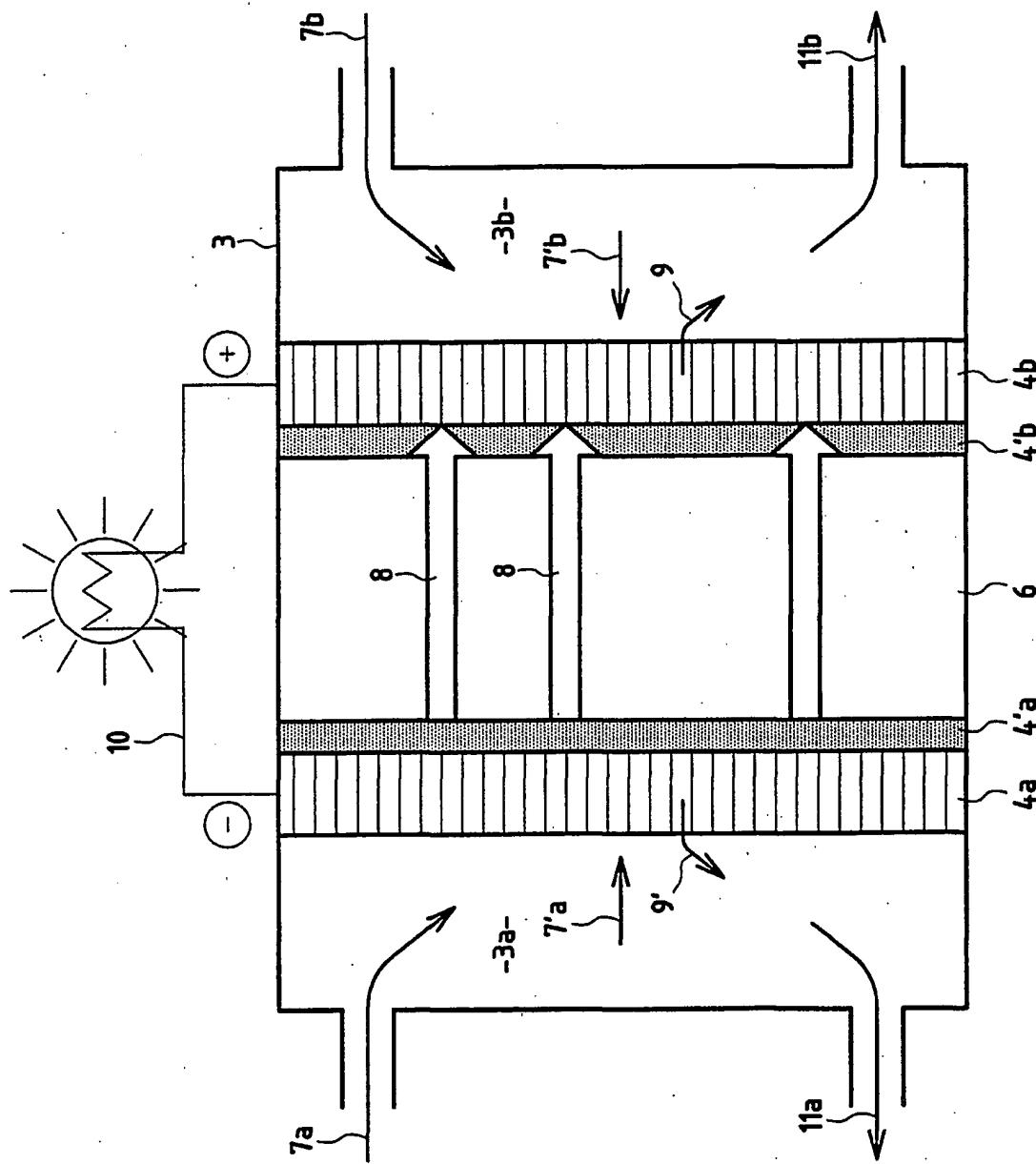
15.- Procédé d'alimentation électrique d'au moins une pompe de fourniture d'eau alimentaire de secours à des générateurs de vapeur du réacteur 10 nucléaire, pour refroidir le réacteur nucléaire, en cas de perte totale d'alimentation électrique, caractérisé par le fait qu'on alimente la pompe de fourniture d'eau alimentaire en courant électrique, à l'aide d'une pile à combustible (2) d'une puissance de l'ordre de 500 kVA.

1/3

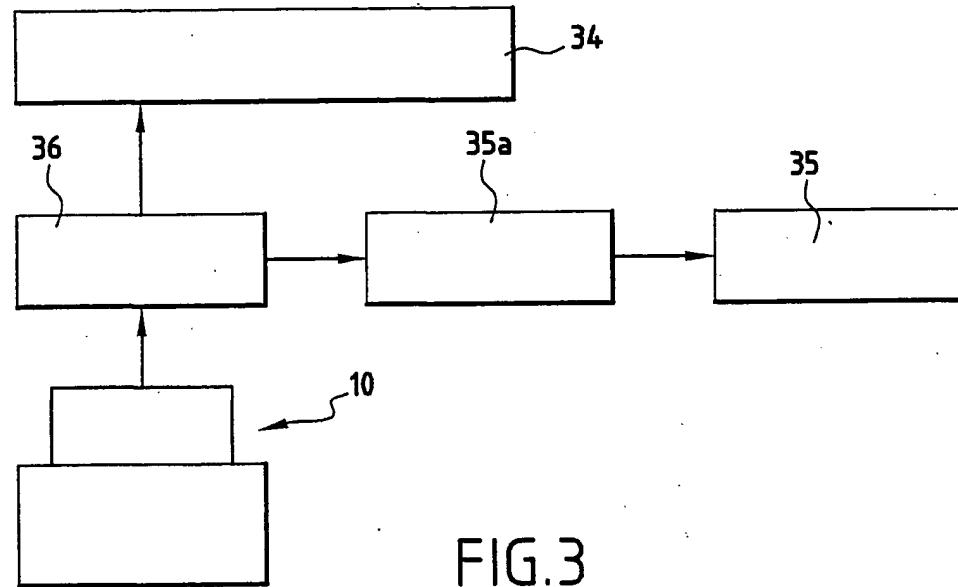
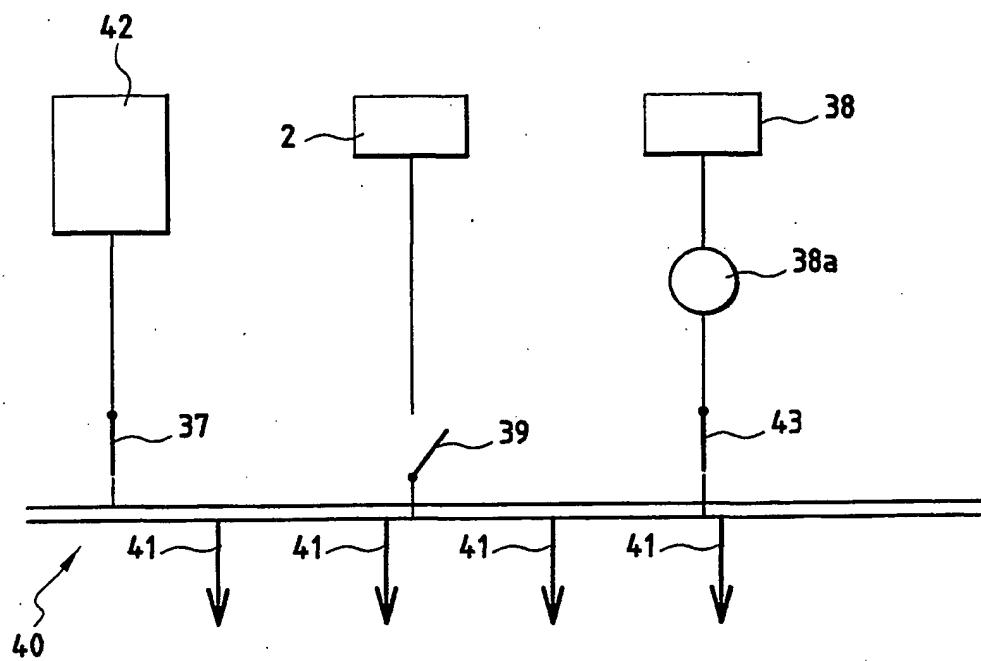


2/3

FIG.2



3/3

FIG.3FIG.4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
EPO/FR 02/01244

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G21D1/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G21D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (names of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT
--

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1996, no. 07, 31 July 1996 (1996-07-31) & JP 08 062386 A (HITACHI LTD), 8 March 1996 (1996-03-08) abstract	1
Y		4,12
A		5-9, 13-15
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 015, no. 479 (E-1141), 5 December 1991 (1991-12-05) & JP 03 208259 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD), 11 September 1991 (1991-09-11) abstract	4,12
A	---	1,5-8, 13-15
	-/-	

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the International search report
---	--

8 August 2002

06/09/2002

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
-------------------------------------	--------------------

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel: (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Deroubaix, P

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR 02/01244

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 14, 31 December 1998 (1998-12-31) & JP 10 253796 A (HITACHI LTD), 25 September 1998 (1998-09-25) abstract ---	1, 9, 13-15
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 01, 31 January 2000 (2000-01-31) & JP 11 281787 A (HITACHI LTD; HITACHI ENG CO LTD), 15 October 1999 (1999-10-15) abstract ---	1, 12-15
A	US 5 492 777 A (ISENBERG ARNOLD O ET AL) 20 February 1996 (1996-02-20) abstract ---	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 687 (E-1651), 26 December 1994 (1994-12-26) & JP 06 276701 A (KANSAI ELECTRIC POWER CO INC:THE; OTHERS: 01), 30 September 1994 (1994-09-30) abstract ---	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 02/01244

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
JP 08062386	A	08-03-1996	NONE		
JP 03208259	A	11-09-1991	NONE		
JP 10253796	A	25-09-1998	NONE		
JP 11281787	A	15-10-1999	NONE		
US 5492777	A	20-02-1996	CA EP JP WO	2211391 A1 0807322 A1 11501448 T 9623322 A1	01-08-1996 19-11-1997 02-02-1999 01-08-1996
JP 06276701	A	30-09-1994	NONE		